COUSSINETS, MODE D'EMPLOI

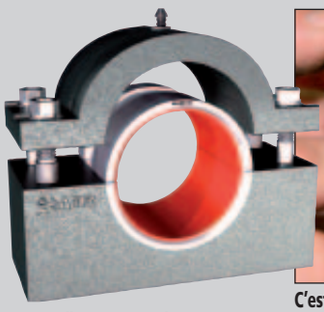
Depuis les années 50, les moteurs sont équipés de coussinets. Remplaçant les bielles et paliers régulés, ces petits organes discrets apparaissent bien mystérieux aux yeux des néophytes. Mystérieux et inquiétants lorsqu'on évoque la hantise suprême, le coulage de bielle qui vous laisse sur le bord de la route, aussi penaud que désemparé. Pour tout savoir sur cet élément essentiel au bon fonctionnement d'une mécanique, aussi sage soit-elle, nous avons fait appel à Lionel Pellevoisin, animateur de la société SAMR. Opération démystification.

Texte **Lionel Pellevoisin** - Photos **SAMR** et **Gazoline**

Les autos du Chef sont assez coutumières du coulage de bielle. Ici, lors du rallye Adriatica, ce ne sont pas une mais trois bielles qui sont dans le sac ! Pas à cause d'un problème de lubrification, mais parce que le vilebrequin, rectifié à 0,50, n'avait pas été durci en surface. Depuis, c'est une précaution que nous prenons sur chaque vilebrequin rectifié.

Première question : à quoi sert le coussinet ? Pour faire simple, il s'interpose entre deux pièces d'acier tournant l'une autour de l'autre ou l'une dans l'autre afin de réduire les frottements. Dans la pratique, c'est un peu plus compliqué, comme en témoigne sa composition. Il est en effet constitué de deux demi-coquilles, identiques ou pas, en acier, sur lesquelles sont apposés des métaux antifriction. Ces derniers, qui s'interposent au contact acier/acier, doivent répondre à de multiples exigences :

- **bas coefficient de frottement :** pour limiter le dégagement de chaleur et l'usure dans les phases critiques (démarrage, vibration, lubrification dégradée...) ;
- **résistance à la compression**, car ils portent les charges statiques et dynamiques qui peuvent atteindre des valeurs très élevées ;
- **résistance au fluage** qui est la tendance à la déformation plastique, sous charge continue, bien qu'inférieure à la limite élastique ;
- **résistance à la fatigue**, qui n'a rien à voir avec une quelconque fainéantise du matériau, mais qui crée des ruptures sous des sollicitations répétées très inférieures à la résistance à la rupture dudit matériau ;
- **bonne mouillabilité** par les lubrifiants afin d'assurer la formation rapide du film d'huile en régime hydrodynamique et de garantir un fonctionnement optimal en lubrification mixte (faible vitesse ou manque de lubrifiant) ;
- **bonne tenue en température :** les résistances évoquées ci-dessus ont une fâcheuse tendance, plus ou moins prononcée, à se dégrader avec l'élévation de la température ;
- **dureté compatible avec celle de l'antagoniste :** la dureté est souvent favorable au frottement, mais son excès reportera l'usure sur l'organe mobile (le vilebrequin) que l'on veut justement protéger ;
- **bonne conductivité thermique :** si plus de 70 % des calories sont évacuées par la circulation du lubrifiant, une bonne partie l'est par la conduction du bâti puis par rayonnement. Un manque de conductivité thermique du matériau antifriction conduirait à un point chaud là où ça fait mal... et à une rupture certaine ;
- **bonne usinabilité :** avec des tolérances dimensionnelles et géométriques flirtant avec le centième de millimètre, la capacité à l'usinage des matériaux sélectionnés revêt toute son importance ;
- **bonne incrustabilité**, c'est-à-dire la capacité à absorber les microscopiques particules métalliques dures pouvant polluer le lubrifiant. Laissées en suspension dans l'huile en circulation, elles pourraient endommager l'arbre ;
- **bonne conformabilité**, à savoir la capacité à encaisser un défaut de lignage entre l'arbre et son logement ;
- enfin, *last but not least*, la **résistance au grippage**, c'est-à-dire l'inaccointance métallurgique des métaux en présence qui garantit qu'en cas de pépin, votre moteur n'explose pas... Cette qualité suprême interdit la soudure qui ne manquerait pas de se produire, en cas de rupture de film d'huile, si les métaux y prêtaient le flanc, en fonction des conditions de pression et de température très localisées.



Un palier avec son chapeau et le coussinet constitué de deux demi-coquilles.

C'est par laminage à froid que sont obtenus ces coussinets alu, alliés à de l'étain. Celui-ci est profondément rayé.

La hantise du voyageur au long cours : le coulage de bielle ! On voit bien, ici, les traces d'une attaque en règle du revêtement étain-plomb, laissant apparaître le cuivrage.

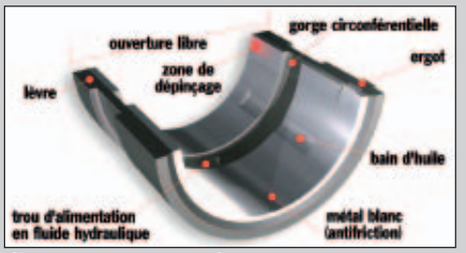
Quand on a balayé tous ces critères, et qu'on y ajoute des contraintes économiques et de procédés industriels, les candidats se font rares, voire très rares...

Alors, que rencontrez-vous principalement sur vos anciennes ?

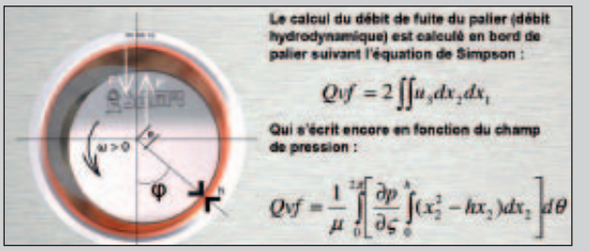
Les plus courants et les moins chers sont les alus, ou plus précisément les **aluminiums de frottement**, qui sont alliés à de l'étain et présentent de bonnes capacités de frottement. Leur faible poids contribue à l'allégement des équipages mobiles et le bas coût de l'aluminium, comparativement au métal rouge, explique leur prix plus avantageux. Ils se sont développés avec la technologie du **colaminage à froid** et dotent la majorité des véhicules d'aujourd'hui, destinés à un usage "domestique" peu sollicité. L'alu de frottement n'exige pas une grande dureté de l'antagoniste.

Les plus anciens et connus sont les **régules**. Il s'agit d'une famille d'alliages également appelée "métal blanc" ou "Babbitt" chez les Anglo-Saxons, du nom de l'inventeur américain Isaac Babbitt (1799-1862) contemporain de James Watt dont l'obsession était de dompter l'énergie de la vapeur dans sa "machine", et qui a ouvert l'ère industrielle avec la contrainte de fiabiliser les paliers. Bien qu'anciens, les régules n'en sont pas moins actuels. Aujourd'hui principalement à base d'étain, ils recouvrent une très grande famille d'alliages dont les qualités sont recherchées pour les machines "forte vitesse faible charge" (typiquement les turbines). Ils ne sont donc pas adaptés aux moteurs thermiques récents où les taux de compression et températures atteints sont incompatibles avec leurs caractéristiques. Très présent sur les véhicules âgés, le régule est à l'origine de l'expression « couler une bielle », car son faible point de fusion (350 °C) fait collapser rapidement ses capacités portantes dès que la température monte. Le moteur cogne, le régule fond et coule, et l'instant d'après,

Bloc de Simca Rush équipé de ses coussinets côté palier et (à droite) sur les chapeaux.



Eléments composant un coussinet.


Le calcul du débit de fuite du palier (débit hydrodynamique) est calculé en bord de palier suivant l'équation de Simpson :
$Qvf = 2\iint u_3 dx_2 dx_1$
Qui s'écrit encore en fonction du champ de pression :
$Qvf = \frac{1}{\mu}\int_0^{2\pi}\left[\frac{\partial p}{\partial \zeta}\int_0^{A}(x_2^2 - hx_2)dx_2\right]d\theta$
Calcul du débit de fuite du palier.

le piston et sa bielle, telles la comète et sa traîne, passent à travers le capot dans un nuage de fumée... L'effet est beaucoup moins romantique.

La référence est indiscutablement le **trimétal**, dont l'avènement a accompagné la montée en puissance des moteurs thermiques et la généralisation de la turbocompression. Là, on est sur du solide, du connu, de la référence ; généralement en première monte chez tous les constructeurs jusque dans les années 90. Sa tenue est estimée à plus de 40 % au-dessus de son petit frère aluminium. Aujourd'hui, il est prisé des moteurs sollicités en compétition. L'antifriction est ici une base cuivre alliée à de l'étain et additionnée de plomb qui permet d'obtenir le fameux « métal rouge ». Une troisième couche de finition (d'où le nom trimétal) vient améliorer son comportement au frottement, ses capacités d'incrustabilité et de conformabilité. La seule réserve est la compatibilité de l'antagoniste en terme de dureté ; les vilos montés sur trimétallique doivent présenter une dureté supérieure à celle de ceux équipés en régule.

Les **rares** sont aussi connus sous l'appellation ésotérique de "sputter". Ils sont réservés aux moteurs des véhicules puissants haut de gamme. Ils sont obtenus par dépôts PVD (Pressure Vacuum Deposit), opération qui consiste à bombarder de particules un métal d'apport sous vide qui vient, sous l'effet d'un champ électrique, se déposer en surface du coussinet. Ils affichent d'excellentes qualités en conditions sévères d'exploitation, mais sont onéreux et consacrés aux grandes séries.

Le coussinet, le fusible du moteur

Les coussinets sont des **pièces fusibles**. Cela signifie qu'en cas de problème, elles se sacrifient pour protéger les organes nobles de la machine (en général le rotor = vilebrequin dans un moteur thermique). Mais en vérité, leur état est directement lié à la bonne lubrification du moteur. Si le coussinet ne reçoit pas d'huile ou une huile dégradée, quelle que soit sa qualité, il se détériore. Et une fois qu'il a commencé, mieux vaut vite déposer le bas moteur et inspecter tout de fond en comble, car les mécanismes de dégradation des paliers peuvent être fulgurants : en effet, des régimes vibratoires anormaux, une multiplication des touchettes (microcontacts soie/logement), une surcontamination de l'huile provoquent des élévations de températures, localisées au début, puis généralisées peu à peu. Le lubrifiant monte en température et perd de sa viscosité, les épaisseurs minimales de film d'huile diminuent et favorisent les touchettes. A ce stade, deux scénarios peuvent se dessiner : le premier, heureusement le plus fréquent, consiste en une autorégulation, car la plus faible viscosité a augmenté le débit de lubrifiant et évacué plus de calories du palier qui retrouve ainsi un équilibre de fonctionnement à un seuil de température stable ; le second conduit à une divergence des températures, l'énergie produite dans le palier n'est plus suffisamment évacuée et entraîne un processus de dégradation fulgurante.

Quelle est la durée de vie d'un embiellage ?

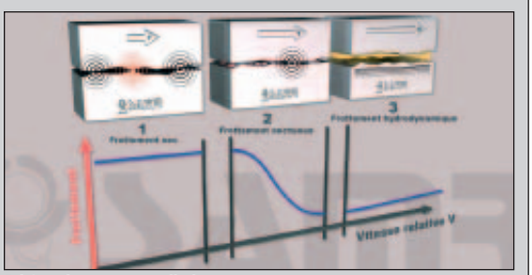
Connaissant les matériaux, les conditions de fonctionnement et l'âge du capitaine, est-on capable de calculer un taux d'usure ou de fatigue et une durée de vie statistique minimale, comme pour les roulements à billes par exemple ? Non ! C'est comme la fameuse durée de refroidissement du canon : ça dépend...

Les paliers de votre moteur sont conçus pour fonctionner en régime hydrodynamique. La durée de vie théorique est... infinie, car il n'y a pas d'usure, mais simplement laminage des molécules du lubrifiant qui s'interpose au contact maneton/tête de bielle. Autrement dit, « ça baigne dans l'huile ». Le palier se comporte comme une pompe, appelant le lubrifiant dont il a besoin (pour autant qu'il soit « gavé » par barbotage, projection, pompe…) afin de former le "coussin" qui va s'interposer entre l'arbre et son logement. On parle d'hydro parce qu'il faut un fluide visqueux ; ici il s'agit de l'huile, mais ça peut être de l'eau sur certains paliers de pompe ou de l'air sur des turbines de dentiste ou disque dur d'ordinateur. Dynamique car ce film ne se constitue que grâce au mouvement. A l'arrêt, il tend vers une épaisseur nulle et disparaît. C'est le même phénomène que l'aquaplaning, lorsque le pneu n'arrive plus à évacuer l'eau : avec la vitesse, vous décollez du bitume et glissez sur l'eau.

Le **palier hydrodynamique** se dimensionne et se calcule de plus en plus finement avec les progrès de la puissance des ordinateurs. Pour les "physico-matheux", c'est Osborne Reynolds (1842-1912) qui a mis en équations ces phénomènes. On lui doit notamment le nombre de Reynolds utilisé en mécanique des fluides et qui caractérise un écoulement, en particulier la nature de son régime (laminaire, transitoire, turbulent). Pour prendre en compte l'évolution de la viscosité avec la température, le calcul est devenu thermo-hydrodynamique. Les matériaux se déformant sous charge, il a fallu inclure cette notion, mais parce que le lubrifiant sous forte pression n'est plus "newtonien"... Bref, les raffinements des calculs sont sans fin et occupent des équipes de chercheurs partout dans le monde, parmi lesquels, nous Français, sommes très forts. Si le sujet vous passionne, SAMR SAS aura plaisir à vous proposer des cours très pratiques sur ce thème, mais ce n'est pas certain que cela présente un réel intérêt pour la bonne marche de votre ancienne. Car si ces calculs permettent d'obtenir des paramètres de fonctionnement par rapport à des hypothèses précises et de vérifier par exemple des épaisseurs minimales de film d'huile, des températures maximales, des champs de pression et vitesse dans le film, des débits de lubrifiant, des positions de l'arbre dans son logement..., ils ne garantissent jamais contre une casse, restant théoriques. Dans la vraie vie, la machine vibre, le lubrifiant est contaminé, le moteur subit des changements de régime violents, il est arrêté et démarré, parfois après une longue période d'inactivité ou à chaud, la température ambiante peut descendre sous - 10 °C ou monter au-dessus de 30 °C, la qualité de l'essence peut varier, le lubrifiant se dégrader en se contaminant, en s'oxydant, l'empilage des cotes de l'arbre du coussinet et de son logement conduit à des écarts non négligeables de jeux, le défaut de lignage de l'arbre ou sa déformation, statique ou/et dynamique, induisent des contraintes non prévues... Autant de paramètres qui limitent l'intérêt d'un calcul théorique poussé.

Il convient par contre de s'assurer de la qualité de ces pièces critiques que sont les coussinets, discrètes mais fondamentales pour le bon fonctionnement du moteur. Embiellage Collector SAS propose sur son site un catalogue complet de coussinets pour véhicules anciens qui répondent à ce critère de qualité. On attachera ensuite une attention particulière à leur bon montage en vérifiant les jeux (au plastigage), les portances, les lignages, les serrages... Enfin, on surveillera la bonne lubrification, car sans elle, tout effort est vain.

De la même manière que du temps de l'hippomobile l'adage voulait que « pas de pieds pas de cheval » ; à l'âge du cheval vapeur, nous sommes contraints de constater que « pas de palier, pas de moteur » ! ■



Schématiquement, en diminuant le frottement, on peut augmenter la vitesse relative tout en réduisant les risques de cisaillement. Pour parler trivialement : on ne lamine plus le métal, mais les molécules de lubrifiant.

Coussinets de paliers (en haut) et de bielles (en bas) en trimétal.

Traces d'arrachement suite à un défaut de lubrification.

Adresses

SAMR SAS,
Fabricant de coussinets à Troyes depuis 1947.
27 rue Danton, BP 20248,
10150 Pont-Sainte-Marie.
T 03.25.72.13.21.
www.metal-rouge.com

Embiellage Collector SAS,
Vente sur catalogue de coussinets pour véhicules anciens.
27 rue Danton, BP 20248,
10150 Pont-Sainte-Marie. T. 03.25.72.13.22.
www.embiellage-collector.com